2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO: ESTUDO DE CASO DE PROJETO DE EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL LOCALIZADA EM ARACAJU-SE[1]

VECCHIO, Marina Lima (1); VELOSO, Ana Carolina de Oliveira (2)

(1) Universidade Federal de Minas Gerais, marinavecchio@icloud.com,
(2) Universidade Federal de Minas Gerais, acoveloso@gmail.com

RESUMO

A análise das necessidades humanas relativas ao conforto térmico, bem como do clima de uma determinada localidade, como guia para a concepção de projetos arquitetônicos permite que a edificação possa usufruir dos benefícios dos recursos naturais do local, ao invés de sistemas artificiais, para que seus ocupantes se sintam confortáveis termicamente. Com o uso de ferramentas computacionais, é possível testar diversos cenários, simulando como será o desempenho térmico da edificação. O objetivo deste artigo é analisar o desempenho térmico do projeto de uma edificação localizada em Aracaju-SE através de simulações com o software Energy Plus. A partir dos resultados, o artigo investiga se outras soluções podem proporcionar aos usuários da edificação mais horas de conforto térmico no ano, diminuindo assim a necessidade de se utilizar sistemas artificiais de condicionamento de ar. São comparados os resultados de cada estratégia com os do projeto original e conclui-se que a solução que gera os melhores valores indicativos de conforto térmico implica em uma redução considerável na quantidade de aberturas envidraçadas na fachada da edificação, em relação ao projeto original. (Pesquisa produto de Especialização. Finalizada)

Palavras-chave: *Desempenho térmico; Simulação computacional; Estratégias bioclimáticas Aracaju.*

ABSTRACT

The analysis of human needs in relation to thermal comfort and microclimate as a guide to design architectural projects allows the building to utilize more efficiently the natural resources available on site, instead of artificial systems, to provide thermal comfort for residents. With the application of computer software, it is possible to test various scenarios and foresee the building thermal performance. This article aims to analyze the thermal performance of a building located in Aracaju-SE, running Energy Plus simulations. From the results, it is investigated if other solutions could provide the residents with more thermal comfort hours per year, therefore reducing the need for artificial air conditioning systems. The results of each scenario are compared with those from the original project and the reached conclusion is that the scenario that results in better thermal comfort parameters implied in a considerable reduction of the building facades' glazed openings, when compared to the original designed building.

Keywords*: Thermal performance; Computer simulation; Bioclimatic strategies; Aracaju.*

---

[1] VECCHIO, Marina Lima ; VELOSO, Ana Carolina de Oliveira. Análise de Desempenho Térmico: Estudo de caso de projeto de edificação residencial localizada em Aracaju-SE. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

O conforto térmico é um estado relativo à condição mental de uma pessoa que se encontra satisfeita com o ambiente térmico no qual está inserida (ASHRAE, 2010). Para que isso ocorra, há variáveis a serem consideradas – como temperatura do ar, direção e velocidade dos ventos – já que esse ambiente está inserido num contexto climático. A relação entre o clima e as pessoas permite compreender suas necessidades de conforto e a forma como a Arquitetura pode contribuir para isso (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014).

Em regiões de climas quente e úmido, como Aracaju-SE, o estudo das condições climáticas e a identificação de soluções passivas de projeto podem ser significativos na busca pelo conforto térmico nas edificações naturalmente ventiladas. Costa (2009) realizou estudos para identificar como a ventilação natural pode trazer conforto térmico em edificações residenciais em Aracaju-SE, e confirma a influência das aberturas em fachadas opostas na promoção efetiva da ventilação cruzada e cita a importância da análise do clima local para definição das estratégias.

Na fase de concepção do projeto, o uso de métodos é importante para determinar parâmetros de medição do conforto, e o uso de ferramentas de simulação computacional como o *Energy Plus*, é relevante para testar e identificar as melhores soluções. Nesse sentido, Pulgrossi e Neves (2019) utilizaram o Energy Plus para simular o desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial quando adotados materiais de construção com propriedades térmicas diferentes (tijolos cerâmicos, vidro simples, laje de concreto, acabamento externo na cor branca).

2 OBJETIVO

O objetivo do presente artigo é analisar o desempenho térmico da envoltória do projeto proposto para uma edificação residencial unifamiliar, localizada em Aracaju-SE, a fim de verificar a classificação quanto à sua eficiência, conforme parâmetros do Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Residenciais – RTQ-R (INMETRO, 2012).

A partir do resultado, caso não tenha sido obtida a classificação "A", espera-se identificar estratégias passivas alinhadas às recomendações bioclimáticas para Aracaju-SE que, ao serem incorporadas ao projeto original, sejam capazes de proporcionar uma melhoria no conforto térmico ao reduzirem o índice GH_R.

3 MÉTODO

O estudo foi desenvolvido em três etapas:

1 Realização de simulação computacional do projeto original proposto para a edificação e identificação do nível de eficiência energética;
2 Identificação dos dados climáticos da cidade de Aracaju e das estratégias recomendadas para uma edificação confortável termicamente;
3 Realização de simulações testando alterações na envoltória do projeto original para viabilizar o alcance de uma classificação melhor em eficiência.

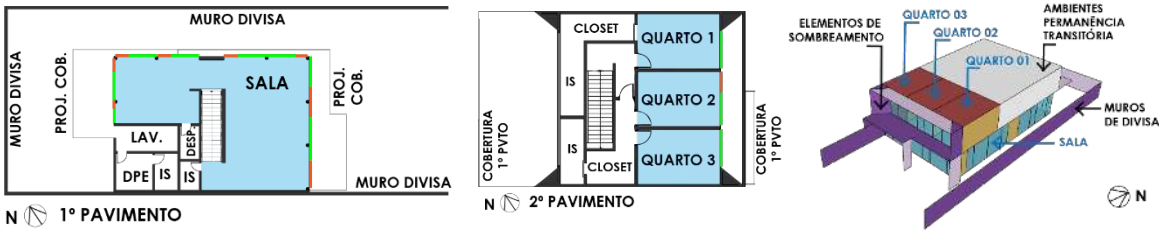
Para a avaliação do desempenho térmico do projeto residencial, objeto de estudo durante programa de Especialização, foi adotado o método de simulação do RTQ-R (INMETRO, 2012) para classificação da eficiência da envoltória de uma edificação

unifamiliar naturalmente ventilada. Esse é um dos métodos que permitem avaliar o desempenho térmico da edificação e então classificá-la em níveis que variam de A (maior eficiência) a E (menor eficiência).

3.1 Simulação computacional

Para o processo de simulação, a geometria da edificação projetada foi modelada em 3D no software *SketchUp* e, com o auxílio do *plug-in Open Studio*, foi realizada a interface com o *software Energy Plus* (versão 8.7). Foram representados os elementos da envoltória (cobertura, paredes, portas, janelas), além dos elementos de sombreamento e fechamento do terreno, como ilustra a Figura 1, e determinadas as zonas térmicas, ou seja, ambientes com características térmicas semelhantes. Dentre elas, foram avaliados apenas os cômodos de permanência prolongada – três quartos no segundo pavimento e a sala no pavimento térreo (espaço todo aberto que engloba as salas e a cozinha). Os demais ambientes, de permanência transitória, foram modelados, mas classificados como adiabáticos. Para este estudo, foi utilizado o arquivo climático de Aracaju em formato TMY (Typical Meteorological Year) e a simulação considerou o período de 01 ano.

Figura 1 – Plantas e modelo da geometria do projeto original - zonas térmicas (azul), módulos envidraçados fixos (laranja) e móveis (verde)



Fonte: A autora

Para a simulação no Energy Plus foi inserido o regime de abertura das portas e janelas (são abertas quando a temperatura interna é maior que 20ºC – temperatura de termostato, ou maior que a temperatura externa), valores dos padrões de ocupação e as cargas térmicas de equipamentos elétricos, iluminação e pessoas, conforme valores do RTQ-R (INMETRO, 2012). Apesar do que essa referência recomenda, as temperaturas do solo foram obtidas através do método simplificado que usa o objeto Site:*GroundTemperature:BuildingSurface*. Nunes, Sanches, Zara e Giglio (2019) apontam que ele pode gerar resultados de GH_R maiores do que os obtidos com o método que adota o pré-processador *Slab*. Entretanto, como o objetivo deste estudo é identificar diretrizes construtivas capazes de melhorar o desempenho térmico do projeto original atrvés da redução do valor do GH_R, e não propriamente atingir uma classificação de eficiência da envoltória, optou-se pelo método simplificado. Por fim, foram inseridas as propridades dos materiais da envoltória indicados na Tabela 1 (espessura (E), condutividade térmica (λ), absortância (α) densidade (ρ), resistência térmica (R) e calor específico (C)), extraídos da biblioteca desenvolvida por Weber, Melo, Marinoski e Lamberts (2017) e da NBR 15220-2 (ABNT, 2003).

Tabela 1 – Propriedades térmicas dos materiais utilizados

Materiais	Elemento	E [m]	λ [W/mK]	α	ρ [kg/m³]	R [m²K/W]	C [J/kgK]	FS
Tijolo cerâmico	Paredes	0,13	0,9	0,74	1600		920	

Câmara ar tijolo cerâmico	Paredes					0,175	
Argamassa interna	Paredes	0,025	1,15	0,2	2000	1000	
Argamassa ext. externa	Paredes	0,025	1,15	0,2	2000	1000	
Contrapiso 3cm	Laje piso 1º pvto	0,03	1,15	0,7	2000	1000	
Concreto laje maciça12cm	Laje piso 1º pvto	0,12	1,15	0,7	2200	1000	
Contrapiso 2cm	Laje piso 2º pvto	0,02	1,15	0,7	2000	1000	
Concreto laje maciça13cm	Laje piso 2º pvto	0,13	1,15	0,7	2200	1000	
Piso cerâmico	Piso	0,0075	1,05	0,3	2000	920	
Concreto laje maciça 15cm	Laje cobertura 2ºpvto	0,15	1,15	0,7	2000	1000	
Gesso forro	Forro 1º e 2º pvto	0,01	0,35	0,3	900	870	
Câmara ar forro	Forro 1º e 2º pvto		0,9			0,21	
Vidro simples	Janelas					1/5,7	0,87
Vidro 6mm	Janelas	0,006	0,9				
Câmara arvidro	Janelas	0,0032					
Madeira	Portas	0,03	0,23	0,7			

Fonte: A autora.

3.2 Análises do desempenho térmico da edificação

Com a simulação computacional, obteve-se as temperaturas operativas horárias (To) (média entre a temperatura do ar e a temperatura média radiante interna) de cada ambiente de permanência prolongada, para 01 ano. A partir da equação do RTQ-R (INMETRO, 2012), realizou-se o somatório das To (já subtraída a temperatura base de 26ºC) para obter o índice graus-hora para resfriamento (GH_R) dos ambientes. Os resultados foram confrontados com os dados da tabela de referência do RTQ-R (INMETRO, 2012) para a zona bioclimática da cidade de Aracaju, ZB8, conforme enquadramento da NBR 15220-3 (ABNT, 2003). Ela associa intervalos do GH_R a um equivalente numérico (EqNumEnvAmb) para um ambiente, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação de eficiência do ambiente

Condição	EqNumEnvAmb	Eficiência
$GH_R \leq 5.209$	5	A
$5.209 < GH_R \leq 8.365$	4	B
$8.365 < GH_R \leq 11.520$	3	C
$11.520 < GH_R \leq 14.676$	2	D
$GH_R > 14.676$	1	E

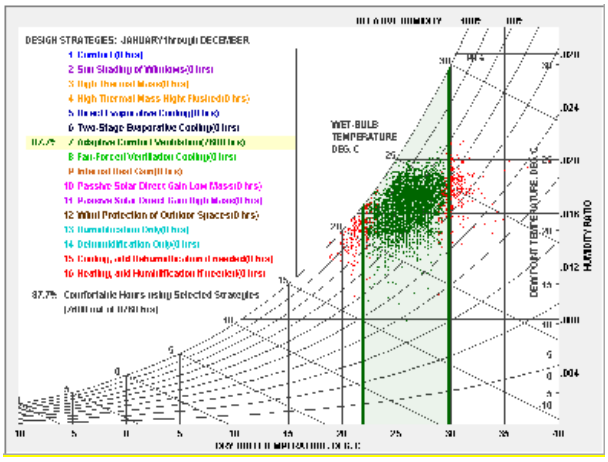
Fonte: Adaptado de Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Residenciais - RTQ-R (INMETRO, 2012).

Após classificar cada zona, calculou-se o equivalente numérico da envoltória (EqNumEnv), obtido ponderando o equivalente numérico (EqNumEnvAmb) de cada ambiente pela sua área útil, correspondendo a um nível de eficiência (de A a E).

3.3 Estratégias bioclimáticas

Para identificar as estratégias bioclimáticas para Aracaju-SE, foi usada a NBR 15220-3 (ABNT, 2003) e o software *Climate Consultant*, que gera uma carta psicrométrica, a partir do arquivo climático, com a estratégia bioclimática recomendada, além de sugerir diretrizes construtivas para edificações residenciais. A norma brasileira indica três estratégias: ventilação, massa térmica de refrigeração e desumidificação por renovação do ar. O Climate Consultant indicou a ventilação natural como a melhor forma de atingir o mínimo de horas em conforto térmico (80%) admitido pelo modelo adaptativo, selecionado como referência para este estudo, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Carta psicrométrica: 87,7% de horas em conforto com ventilação natural



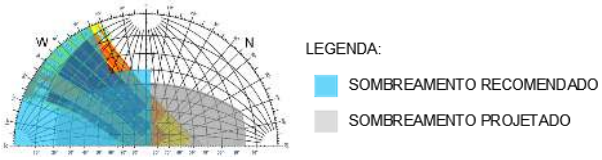
Fonte: Extraído da simulação climática do Climate Consultant

Norma e *software* trazem diretrizes construtivas similares: grandes aberturas (40% da área do piso, pela norma), sombreamento e ventilação cruzada e orientação aos ventos predominantes. A norma ressalta, porém, que para as horas mais quentes, as soluções não promovem todo o resfriamento necessário na ZB8. Para definir as alterações no projeto original, foram usados os critérios: 1) serem condizentes com as diretrizes construtivas indicadas na norma e no *software*; 2) possibilidade de serem avaliadas por simulação; 3) possibilidade de serem incorporadas ao projeto original sem modificar conceito, estrutura e forma originais. Para definir onde as alterações seriam empregadas, optou-se por fazer de forma pontual, priorizando os ambientes que mais se beneficiariam com as modificações.

Primeiramente, devido aos altos valores de GH_R obtidos na simulação do projeto original, optou-se por reduzir a absortância na laje de cobertura do 2º pavimento para diminuir a carga térmica absorvida e transmitida aos quartos. Num segundo momento, adotou-se um conjunto de estratégias, priorizando a ventilação natural e cruzada, o sombreamento das aberturas, os ventos predominantes, juntamente com a redução da carga térmica. As estratégias foram: (1) abertura dos módulos envidraçados fixos nas fachadas sudeste (ventos predominantes) e nordeste (ventos com velocidades elevadas e temperaturas menores, conforme o *Climate Consultant*) para aumentar a área de ventilação natural e cruzada e melhorar a permeabilidade aos ventos; (2) ajuste da geometria do elemento de sombreamento na fachada noroeste, que recebe insolação e radiação altas durante um longo período no ano e é a única, dentre as fachadas analisadas, com sombreamento recomendado nas cartas solares de referência para Aracaju-SE (LABCOM, 2018); (3) adoção de vidros duplos em todos os fechamentos envidraçados, para reduzir a absorção de carga

térmica por radiação. A Figura 3 mostra que o sombreamento original projetado na fachada noroeste não é suficiente para bloquear toda a radiação anual incidente indesejada, como a geometria recomendada o faz.

Figura 3 – Carta solar de Aracaju-SE com sombreamentos para fachada noroeste



Fonte: A autora

Por fim, optou-se por aumentar a massa térmica em todas as zonas, opondo-se ao critério 3, para reduzir o ganho térmico pelos módulos envidraçados, que foram substituídos por fechamento de parede ou madeira, no caso das portas. Para limitar a redução, foi usado o limite mais restritivo de 17% de área de abertura (em % das áreas de piso) para ventilação e iluminação naturais, considerando o Código de Obras (17%) (Aracaju, 2000) e o RTQ-R (10% e 12,5%, respectivamente). Por motivos de limitação de espaço e pelo fato de a avaliação da contribuição individual de cada alteração no desempenho da envoltória não fazer parte do objetivo principal deste estudo, as simulações foram feitas de forma acumulativa.

4 RESULTADOS

4.1 Simulação projeto original

Primeiramente, verificou-se o atendimento aos pré-requisitos do RTQ-R (INMETRO, 2012) e o projeto original atendeu aos valores mínimos para ventilação natural (obteve 54% na sala; 39% no quarto 1; 42% no quarto 2; 41% no quarto 3) e cruzada (78% geral) e iluminação natural (obteve 84% na sala; 37% no quarto 1; 58% no quarto 2 e 39% no quarto 3). Com a simulação, os valores obtidos do GH_R resultaram na classificação "E" na escala do RTQ-R (INMETRO, 2012), como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados da simulação de desempenho da envoltória - projeto original

Cômodo simulado	GH_R [°C]	EqNumEnvAmb	Au [m²]	EqNumEnv	Nível Eficiência
Sala	36.316,3	1	96,7	1	E
Quarto 01	19.491,0	1	15,7		
Quarto 02	24.084,5	1	15,8		
Quarto 03	21.896,4	1	15,8		

Fonte: A autora

4.2 Simulação das alterações no projeto original

A primeira simulação alterou a cor do acabamento da laje de cobertura do 2º pavimento, pintando o concreto (α=0,7) com cor branca, de absortância α=0,2, conforme NBR 15220 (ABNT, 2003).

A segunda simulação aumentou o percentual da área de ventilação em 3 zonas, obtendo 84% na sala, 61% no quarto 2 e 41% no quarto 3. O quarto 1 manteve os mesmos 39% porque os dois módulos envidraçados já eram móveis. Os valores foram obtidos seguindo o método de cálculo do pré-requisito do RTQ-R (INMETRO, 2012).

A terceira simulação reduziu a área envidraçada nas fachadas até o mínimo estabelecido (17%), mantendo sempre o regime de abertura original para janelas e portas, envidraçadas ou não. Obteve-se para iluminação: 17,4% (sala), 19,0% (quarto 1), 18,4% (quarto 2) e 21,4% (quarto 3). E para ventilação: 31,2% (sala); 37% (quarto 1), 34,3% (quarto 2) e 38,9% (quarto 3).

A Tabela 4 apresenta a redução do GH_R atingida nas simulações

Tabela 4 – Simulações, estratégias adotadas e resultados

Simulação	Estratégias acrescentadas a cada simulação	Redução GH_R Alteração/Original [%]				Nível
		Sala	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3	
1	Alteração emissividade da cobertura do 2º pavimento	8,5	11,3	12,4	11,4	E
2	Abertura módulos fixos; sombreamento fachada noroeste; vidros duplos	13,9	18,7	19,0	20,3	E
3	Redução área envidraçada	43,1	39,6	47,6	43,4	E

Fonte: A autora

4.3 Discussão dos resultados

A primeira alteração diminuiu a transmissão de calor aos quartos pela cobertura, com a redução de mais de 11% do GH_R de cada quarto, e influenciou na transmissão de calor também entre o 2º e o 1º pavimentos, reduzindo em 8,5% GH_R da sala.

Na segunda simulação, abrindo os módulos fixos, os percentuais das áreas para ventilação aumentaram. À exceção do quarto 1, o restante atingiu o valor de 40%, que é o valor sugerido para grandes aberturas pela NBR 15220-3 (ABNT, 2003). Os vidros duplos e o sombreamento da fachada noroeste diminuíram o ganho de calor por radiação solar direta, contribuindo para os percentuais atingidos. Apesar dessas estratégias seguirem as recomendações das duas referências usadas (priorização da ventilação natural, grandes aberturas e sombreamento), não houve redução significativa nos percentuais do GH_R das 4 zonas a ponto de alterar as classificações.

Sendo as simulações acumulativas, é expressiva a melhoria nos índices de GHR de todos os cômodos após o acréscimo dessa estratégia na terceira simulação. Tendo como referência o projeto original, reduziu-se o GH_R em 43,1% (sala), 39,6% (quarto 1), 47,6% (quarto 2) e 43,4% (quarto 3). Assim, os três quartos tiveram seus valores de EqNumEnvAmb alterados para 2 e sua classificação melhorada para "D". Contudo, o nível da sala e da edificação se mantiveram "E". Como a classificação geral da edificação é ponderada pelas áreas dos ambientes analisados, e o somatório dos quartos é quase 1/3 da área total, a edificação manteve sua classificação original.

5 CONCLUSÃO

Alinhado ao seu objetivo, esta análise mostrou que a adoção de estratégias passivas para resfriamento em Aracaju, condizentes com as recomendações adotadas, é capaz de reduzir as horas de desconforto no interior da edificação, como indicado pela redução dos índices GH_R dos cômodos analisados.

A análise dos resultados após as três simulações, mostra que a solução que mais contribuiu, percentualmente, para a redução do indicador de graus-hora em todos

os cômodos não teve como foco principal a ventilação natural ou sombreamento, ponto de convergência entre as recomendações das duas referências utilizadas. Pelo contrário, a mudança baseou-se na redução da área das aberturas envidraçadas e no consequente aumento da massa térmica da envoltória. Além disso, adotar uma cor mais reflexiva na cobertura contribuiu individualmente na redução em mais de 10% da carga térmica dos cômodos logo abaixo dela.

Analisar o conforto térmico em uma edificação ainda durante a fase de projeto com base em parâmetros permite ao profissional de arquitetura verificar quais e se as estratégias passivas serão capazes de promover um conforto térmico aos usuários da edificação. Para cidades da ZB8, como Aracaju-SE, soluções passivas podem contribuir para que os usuários se sintam confortáveis sem a necessidade de recorrer a sistemas de condicionamento durante algumas horas ao longo do ano.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15220 - 2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, ABNT, 2003.

ABNT. **NBR 15220 - 3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, ABNT, 2003.

ARACAJU. Lei nº 03 de junho de 2000. **Código de Obras do Município de Aracaju**. Disponível em: https://www.aracaju.se.gov.br/userfiles/seplan/arquivos/planodiretor/COD_OBRAS.pdf. Acesso em: 13 maio 2020.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGENEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2010.** Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta, 2010.

COSTA, L. C. N. **Aproveitamento da ventilação nas habitações: um estudo de caso na cidade de Aracaju-SE.** 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais** (RTQ-R). Rio de Janeiro, INMETRO, 2012.

LABCON, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética no Ambiente Construído. **Cartas solares**. 2018. Disponível em: http://www.arq.ufmg.br/tau/labcon/index.php/cs/. Acesso em: 11 maio 2020.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 2ª ed., revisada. São Paulo: ProLivros, 2004.

NUNES, G. H.; SANCHES, G. V.; ZARA, R. B.; GIGLIO, T., G., F. Análise de métodos de cálculo para determinação a temperatura do solo em simulações computacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO,15., ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2019, João Pessoa. **Anais...** [...] Porto Alegre: ANTAC, 2019. p. 2169-2178.

PUGROSSI, L. M.; NEVES, L. O. Avaliação de desempenho térmico da envoltória de residência unifamiliar. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO,15., ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2019, João Pessoa. **Anais...** [...] Porto Alegre: ANTAC, 2019. p. 2236-2245.

WEBER, F.S.; MELO, A.P.; MARINOSKI, D.; LAMBERTS, R. **Elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis: LabEEE, 2017. 52p.